

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Regulace veřejného osvětlení**

Public lighting controlling

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Gebauer**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Regulace veřejného osvětlení  
Public lighting controlling**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Základní světelně-technické pojmy ve veřejném osvětlení
- o Normativní požadavky na veřejné osvětlení
- o Rozbor komponentů LED regulovatelných svítidel veřejného osvětlení
- o Možnosti řízení veřejného osvětlení
- o Výpočty chování řízené osvětlovací soustavy na polygonu VŠB-TU Ostrava

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU, CIE
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)
- [5] [www.csorsostrava.cz](http://www.csorsostrava.cz)
- [6] soubor norem na osvětlování komunikací


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2019



  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 28. června 2019  
podpis studenta

Hubauer

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. a doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Náplní této bakalářské práce je předložit možnosti využití technologií LED v souvislosti s veřejným osvětlením, poukázat na efektivitu a praktičnost ve srovnání s konvenčními svítidly. V teoretické části jsou přiblíženy základní světelné-technické pojmy, které jsou klíčové pro výběr vhodných svítidel. Dále jsou popsány normativní požadavky, které se kladou na veřejné osvětlení. Soubor norem popisuje parametry, které je nutné dodržet pro výslednou kvalitu zvolených svítidel či samotných světelných zdrojů. Další kapitola je zaměřena na LED svítidla a jejich využití ve veřejném osvětlení. V neposlední řadě jsou popsány jejich výhody v komparaci se stávajícími NAV svítidly. V závěru teoretické části jsou popsány možnosti řízení ve veřejném osvětlení. Praktická část je zaměřena na polygon v areálu VŠB-TU v Ostravě, který používá technologii „SmartLight“ a poukazuje na budoucnost ve veřejném osvětlování pomocí chytrého řízení osvětlení. Dále jsou v praktické části komparovány dvě LED svítidla spolu s původním NAV svítidlem. Závěr práce shrnuje výsledky a potvrzuje výhody moderních LED technologií.

## **Klíčová slova**

Veřejné osvětlení; LED; NAV; regulace; světlo; polygon; parametry

## **Abstract**

The content of this bachelor thesis is to introduce the possibilities of using LED technologies related to public lighting, to point out their effectivity and practicality in comparison with conventional luminaires. The theoretical part of this work approximates its basic light-technical concepts that are key for the selection of appropriate luminaires. Then it describes the normative requirements placed on public lighting. The set of norms describes the parameters that need to be abided for the resulting quality of chosen luminaires or light sources themselves. The next chapter of this work focuses on LED luminaires and their usage in public lighting. Last but not least are depicted their benefits in comparison with the current NAV luminaires. The conclusion of the theoretical part covers the possibilities of controlling the public lighting. The practical section focuses on the polygon in the VŠB-TU grounds in Ostrava, which uses the „SmartLight“ technology and points to the future of public lighting using smart lighting control. In addition, the practical part compares two LED luminaires together with the original NAV lamp. The conclusion of this work summarizes the results and affirms the advantages of modern LED technologies.

## **Key words**

Public lighting; LED; NAV; regulation; light; polygon; parameters

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Základní světelné technické pojmy ve veřejném osvětlení .....	2
2.1	Světelný tok ( $\Phi$ ) .....	2
2.2	Svítivost ( $I$ ) .....	2
2.3	Prostorový úhel ( $\Omega$ ) .....	3
2.4	Osvětlenost ( $E$ ) .....	3
2.5	Světlení ( $M$ ) .....	4
2.6	Jas ( $L$ ) .....	4
2.7	Měrný světelný výkon ( $\eta$ ) .....	4
2.8	Index podání barev ( $R_a$ ) .....	4
2.9	Doba života .....	5
2.10	Teplota chromatičnosti ( $T_c$ ) .....	5
2.11	Prostorová osvětlenost ( $E_0$ ) .....	5
2.12	Průměrný jas povrchu pozemní komunikace ( $L$ ) .....	6
2.13	Průměrná vodorovná osvětlenost ( $E$ ) .....	6
2.14	Minimální osvětlenost ( $E_{min}$ ) .....	6
3	Normativní požadavky na veřejné osvětlení .....	7
3.1	Zařazení do tříd osvětlení podle ČSN CEN/TR 13201-1 .....	8
3.1.1	Relevantní oblasti, určování parametrů a technická doporučení .....	8
3.2	Požadavky na jednotlivé třídy osvětlení dle ČSN EN 13201-2 .....	10
3.3	Výpočet fotometrických parametrů dle ČSN EN 13201-3 .....	11
3.4	Metody měření fotometrických parametrů dle ČSN EN 13201-4 .....	12
4	Rozbor komponentů LED regulovaných svítidel veřejného osvětlení .....	14
4.1	LED svítidla .....	14
4.2	Historie LED .....	15
4.3	Bílé LED .....	16
4.3.1	Charakteristika bílých LED diod .....	16
4.3.2	Generování bílého světla .....	16
4.4	Porovnání LED svítidla se svítidlem NAV .....	17
5	Možnost řízení veřejného osvětlení .....	18
5.1	Základní systémy regulace světelného toku .....	19
5.2	Ovládací systém veřejného osvětlení .....	21

6	Výpočty chování řízené osvětlovací soustavy na polygonu VŠB-TU Ostrava .....	22
6.1	Prvky "smart light" .....	22
6.2	Obecná charakteristika testovacího polygonu na parkovišti FEI .....	23
6.2.1	Popis soustavy polygonu .....	25
6.2.2	Možnosti zkušebního polygonu Broadband <sup>LIGHT</sup> .....	28
6.3	Typy svítidel a jejich rozmístění na testovacím polygonu .....	28
6.3.1	Vlastnosti použitých svítidel a jejich porovnání s původním typem svítidla .....	29
6.3.2	Porovnání křivek svítivosti.....	31
6.3.3	Kvalitativní a kvantitativní parametry svítidel .....	31
6.4	Výsledky výpočtů vzhledem k požadavkům normy ČSN EN 13201-2 .....	32
6.4.1	Vyhodnocení modelu úseku A (Thorn R2L2).....	33
6.4.2	Vyhodnocení modelu úseku B (Boss Naica).....	34
7	ZÁVĚR .....	36
	Seznam použité literatury .....	37



## Seznam použitých symbolů a zkratek

$\Phi$	[lm]	světelný tok
I	[cd]	svítivost
$\Omega$	[sr]	prostorový úhel
E	[lx]	osvětlenost
L	[cd·m-2]	jas
$\beta$	[-]	úhel mezi dopadajícím paprskem a plochou
$\lambda$	[nm]	vlnová délka
l	[m]	délka
S	[m]	osvětlená plocha
$S_p$	[m <sup>2</sup> ]	průmět svíticí plochy
P	[W]	výkon
$T_c$	[K]	teplota chromatičnosti
$R_a$	[-]	index podání barev
$E_0$	[lx]	prostorová osvětlenost
$E_m$	[lx]	udržovaná osvětlenost
$\bar{L}$	[cd·m-2]	průměrný jas povrchu pozemní komunikace
$\bar{E}$	[lx]	průměrná vodorovná osvětlenost úseku pozemní komunikace
$E_{min}$	[lx]	minimální osvětlenost
$U_0$	[-]	celková rovnoměrnost jasu
$U_l$	[-]	podélná rovnoměrnost jasu
TI	[%]	prahový přírůstek
SR	[-]	činitel osvětlení okolí
VO	veřejné osvětlení	
NAV	vysokotlaká sodíková výbojka	
LED	light-emitting diode	
ČSN	česká technická norma	
EN	evropská norma	
např.	například	
apod.	a podobně	

# 1 Úvod

Veřejným osvětlením (dále jen VO) se rozumí osvětlení komunikací a prostranství. Může zahrnovat např. místní komunikace, dálnice, silnice, komunikace pro pěší a cyklistickou dopravu, parků, tunelů atd. Dále pak do VO patří osvětlení významných objektů, osvětlení veřejných hodin a také slavnostní osvětlení. Vlastníky těchto míst jsou většinou obce, které se o osvětlení starají. Veškeré náklady na provoz a údržbu těchto osvětlení jsou hrazené z obecních rozpočtů. Pokud není vlastníkem obec, zřizuje a vlastní osvětlení obvykle vlastník nebo provozovatel pozemku či objektu.

V dnešní době se VO neustále modernizuje, poněvadž dosavadní osvětlovací soustavy jsou zastaralé nebo se vlastníkům osvětlovací soustavy v dlouhodobém měřítku modernizace vyplatí. V současné době se začínají hojně používat LED svítidla, neboť se jejich měrný výkon za poslední dekádu hodně zvedl a jsou úspornější než současná svítidla.

V teoretické části se zabývám základními světelně-technickými pojmy ve veřejném osvětlení, normativní požadavky, které musí osvětlovací soustavy veřejného osvětlení splnit. Dále se soustředuji na rozpor LED regulovatelných svítidel a jejich porovnání s jinými svítidly a nakonec se detailněji zaměřuji na možnosti řízení ve VO.

V praktické části počítám a vyhodnocuji chování řízené osvětlovací soustavy na polygonu VŠB-TU Ostrava. Ve vytvořeném modelu polygonu v programu Relux, simuluji a počítám starý stav soustavy, který byl osazen svítidlem Thorn Riviéra (s vysokotlakou sodíkovou výbojkou) a nový stav polygonu s řízenými LED svítidly. Pomocí výpočtů a simulací se snažím potvrdit výhody LED.

## 2 Základní světelně technické pojmy ve veřejném osvětlení

### 2.1 Světelný tok ( $\Phi$ )

Světelný tok nám říká, kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí. Je posuzován ze strany citlivosti lidského oka a vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový počitek – vjem.

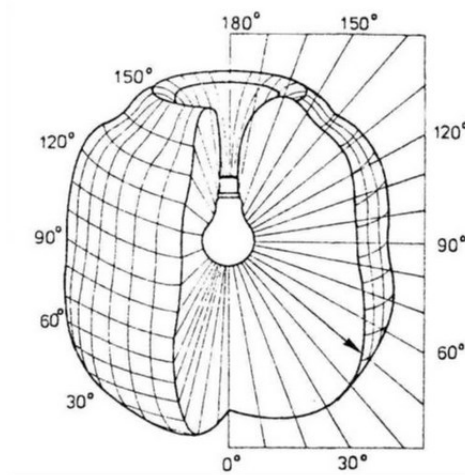
Jednotkou světelného toku je **lumen (lm)**. Při 100% účinnosti přenes 1 W výkonu 683 lumenů (platí pro vlnovou délku 555 nm). [1]

### 2.2 Svítivost (I)

Svítivost je veličina, která popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Udává prostorovou hustotu světelného toku v různých směrech.

Jednotkou svítivosti je **kandela (cd)**, která je také jedna ze základních fyzikálních jednotek soustavy SI. Kandela je rovna svítivosti zdroje, který vyzařuje v určitém směru monochromatické záření o frekvenci  $540 \cdot 10^{12}$  Hz a zářivost zdroje v tomto směru je  $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ .

Střední hodnota svítivosti se určí z podílu světelného toku a jednotkového prostorového úhlu. Svítivost se určuje podle tohoto vztahu pro zdroj či svítidlo, které se nachází ve vrcholu prostorového úhlu  $\Omega$ , tedy teoreticky v jednom bodě. Změřením svítivosti ve všech bodech prostoru okolo zdroje, dostáváme prostorové rozložení svítivosti zdroje. [2]

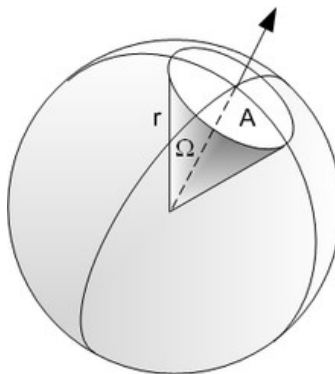


Obr. 1: Příklad plochy svítivosti klasické žárovky [3]

## 2.3 Prostorový úhel ( $\Omega$ )

Prostorový úhel je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost je definována jako poměr kulové plochy  $A$ , kterou vyřezává úhel  $\Omega$  v kulové ploše o poloměru  $r$  a druhé mocniny tohoto poloměru. ( $\Omega = A^2/r$ ).

Jednotkou prostorového úhlu je **steradián (sr)**. Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián, když vyřízneme z kulové plochy koule o poloměru 1m s plochou 1m<sup>2</sup>. [4]

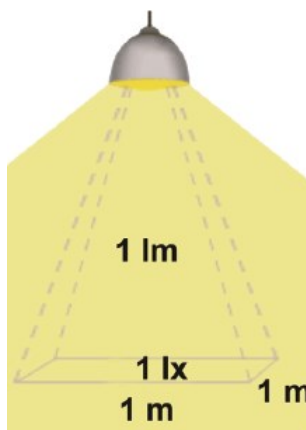


Obr. 2: Vymezení prostorového úhlu [4]

## 2.4 Osvětlenost (E)

Osvětlenost neboli intenzita osvětlení je veličina, která udává, kolik lumenů světelného toku dopadá na 1m<sup>2</sup>. Udává, jak je určitá plocha osvětlována. [2]

Jednotkou osvětlenosti je lux (lx). Lux má hodnotu 1, pokud dopadá 1 lumen na 1m<sup>2</sup> plochy.



Obr. 3: Osvětlenost [2]

## 2.5 Světlení (M)

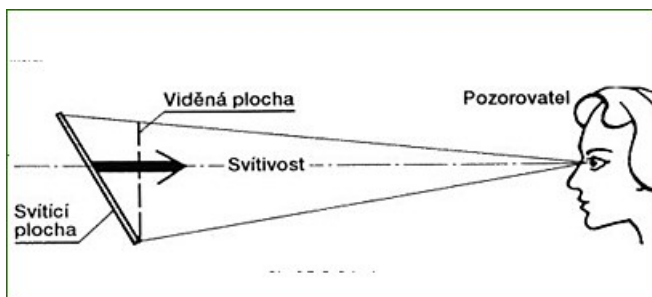
Světlení je definováno jako plošná hustota světelného toku  $\Phi$ , vyzařovaného z plochy A

Jednotkou světlení je **lumen na metr čtvereční ( $\text{lm}/\text{m}^2$ )**

## 2.6 Jas (L)

Jas se světelně technická veličina, na kterou oko přímo reaguje, a to tak, že reaguje na kontrast jasu. Jas se spočítá podělením svítivosti I a průmětu svítící plochy  $S_p$ , kterou pozorovatel vidí. Pokud se bude úhel, pod kterým plochu vidíme, zvětšovat, bude průmět této plochy menší než skutečná plocha. [2]

Jednotkou je **kandela na metr čtvereční ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )**



Obr. 4: Definice jasu[2]

## 2.7 Měrný světelný výkon ( $\eta$ )

Měrný světelný výkon udává, kolik lumenů světelného toku se získá z 1W příkonu. Udává jaká je úroveň přeměny na světelnou energii z energie elektrické. Maximální, pouze teoretický (protože jsou zanedbány ztráty) dosažitelný výkon je 683 lumenů z 1W na vlnové délce 555 nm. U zdrojů světla, které mají předřadník (žárovky, výbojky) je třeba dát si pozor při výpočtu měrného světelného výkonu. U těchto zdrojů bude měrný světelný výkon nižší kvůli vlastní spotřebě předřadníku. [1]

## 2.8 Index podání barev ( $R_a$ )

Index podání barev označuje schopnost vnímání barev pod daným zdrojem. Lidské oko je nejvíce přizpůsobeno slunečnímu záření nebo záření tepelných zdrojů, jako jsou například žárovky. Index se udává v číselné podobě **0 až 100**. Hodnota 100 představuje shodu v podání barev u teplotních zdrojů (například Sluneční záření) a u hodnoty 0 barvy nejdou rozlišit. [1]

## 2.9 Doba života

Doba života světelného zdroje se udává v **hodinách** a je to doba, po kterou světelný zdroj splňuje stanovené požadavky. U tradičních světelných zdrojů (výbojky, zářivky) se doba života udává jako střední doba života, po jejímž uplynutí zůstává ještě 50 % světelných zdrojů funkčních (a 50 % nesvítí). [2]

## 2.10 Teplota chromatičnosti ( $T_c$ )

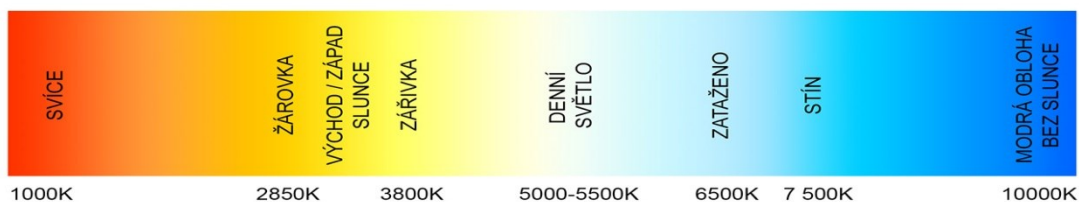
Teplota chromatičnosti se používá k popisu barevných vlastností světla. Charakterizuje bílý tón vyzařovaného světla. Udává se v **Kelvinech**.

Rozděluje se do tří skupin:

- 1) Teple bílý tón (teple bílá) - pod 3 300K
- 2) Neutrálně bílý tón (bílá) - 3 300K až 5 000K
- 3) Chladně bílý tón s modrým nádechem (denní) - 5 000K a výše

Druh světelného zdroje	$T_c$ (K)
Zářivka studené denní světlo	6 500 a více
Zářivka denní světlo	5 400
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Zářivka studená bílá	4 000
Slunce při západu	3 500 ÷ 4 000
Žárovka, žárovka teple bílá	2 700
Plamen svíčky	1 800

Tab. 1: Teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla

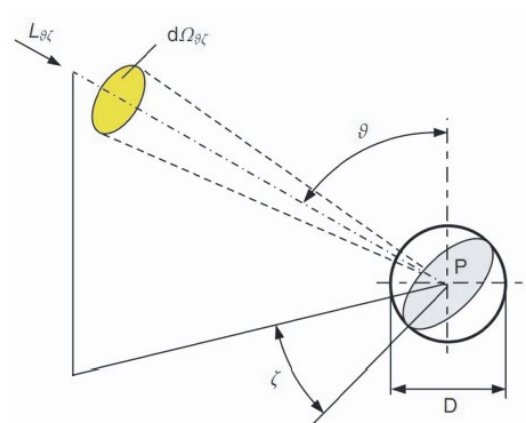


Obr. 5: Teplota chromatičnosti [6]

## 2.11 Prostorová osvětlenost ( $E_0$ )

Jedna ze základních veličin, která se používá pro stanovení osvětlení prostoru. Je určena střední hodnotou osvětlenosti kulového přijímače. Průměr této koule je zanedbatelný vzhledem ke vzdálenosti zdroje od bodu P. [2]

Jednotkou prostorové osvětlenosti je **lux**.



Obr. 6: Prostorová osvětlenost

## 2.12 Průměrný jas povrchu pozemní komunikace ( $\bar{L}$ )

Jedná se o průměrný jas povrchu pozemní komunikace v jízdním pásu. Vypočítá se jako střední aritmetická hodnota všech jasů v uzlových bodech ve výpočtovém poli. [2]

## 2.13 Průměrná vodorovná osvětlenost ( $\bar{E}$ )

Průměrná osvětlenost se spočítá pomocí aritmetického průměru osvětleností v uzlových bodech vypočteného pole. [2]

## 2.14 Minimální osvětlenost ( $E_{\min}$ )

Minimální osvětlenost je nejmenší ze všech hodnot, které se vyskytují v libovolném uzlovém bodě ve výpočtovém poli. [2]

### 3 Normativní požadavky na veřejné osvětlení

Při návrhu osvětlovacích soustav VO používáme normy ČSN CEN/TR 13201-(1,2,3,4), kterými se musíme řídit. Pro účely zařazení veřejného osvětlení jsou nejvíce důležité první dvě části souboru norem.

Norma ČSN CEN/TR 13201-1 není norma v pravém slova smyslu, ale je to spíše technická zpráva. Tato zpráva nám podle základních parametrů (druh uživatelů komunikace, rychlosti vozidla, prostorového uspořádání) pomáhá správně určit správnou třídu osvětlení pro daný úsek komunikace. Dále nám blíže specifikuje třídy osvětlení obsažené v ČSN EN 13201-2 a poskytuje návod k použití. Norma ČSN CEN/TR 13201-1 rovněž obsahuje soubor charakteristických parametrů, pomocí kterého silniční správní úřady popisují určený úsek pozemní komunikace. Na základě daného popisu můžeme správně určit příslušnou třídu osvětlení.

Norma ČSN EN 13201-2 přesně definuje třídy osvětlení na základě fotometrických požadavků, které se odvozují ze zrakových požadavků uživatele pro konkrétní typ komunikace a jejího blízkého prostředí. Tato norma nám blíže specifikuje požadavky pro dané třídy osvětlení, kterou jsme určili podle technické zprávy ČSN CEN/TR 13201-1.

Norma ČSN EN 13201-3 poskytuje návod, jak správně postupovat během výpočtů fotometrických parametrů, podle kterých jsou definovány třídy osvětlení pozemních komunikací uvedené v normě ČSN EN 13201-2. Pro výpočet fotometrických parametrů (průměrný jas, poloválcovou, polokulovou nebo svislou osvětlenost), je nutno zavést matematická zjednodušení: neuvažují se zpětné odrazy světla od okolí, svítidlo považujeme za bodový zdroj, nezahrnují se překážky bránící volnému šíření světelného toku svítidla do okolí, atd. Základem normy, jsou i-tabulky a r-tabulky. Bez těchto tabulek bychom nebyli schopni stanovit jasové podmínky dané komunikace. I-tabulky určují svítivost svítidla do relevantních směrů a r-tabulky popisují odrazné vlastnosti povrchu komunikace. Před závěrečným výpočtem jasu povrchu a osvětlenosti je nutno brát v potaz řadu proměnných: rotaci a orientaci svítidla, úhel natočení svítidla a definici výpočtových polí pro určení hodnot osvětlenosti a jasu. Výpočtové pole jsou zvlášť definovány pro osvětlenost a zvlášť pro jas.

Norma ČSN EN 13201-4 nám říká, jak správně postupovat při měření jasu, popřípadě osvětlenosti komunikace, za účelem dosažení co nejvyšší přesnosti. Co nejpresněji naměřené hodnoty jsou důležité proto, aby se daly porovnávat s vypočtenými hodnotami. Problém dosáhnout vysoké přesnosti měření bývá u měření jasu povrchu komunikace. Je to dáno vlastnostmi komunikace a hlavně jejími odraznými vlastnostmi, které jsou v celém prostoru komunikace odlišné. Jsou ovlivněny celou řadou faktorů: opotřebení povrchu, vlhkost nebo například olejové skvrny na vozovce. Tyto vnější vlivy způsobují velké rozdíly naměřených a vypočítaných hodnot. Tato norma se nám snaží pomoci s vhodným výběrem jasoměru a luxmetru, abychom dosáhli co nejvyšší přesnosti s ohledem na všechny možné vlivy.



### 3.1 Zařazení do tříd osvětlení podle ČSN CEN/TR 13201-1

Pro zjištění třídy osvětlení, které odpovídá navrhovaný úsek pozemní komunikace, je nutno dodržovat následující postup, díky němuž se dozvíme požadavky kladené pro danou třídu osvětlení.

Proces odvození příslušné třídy osvětlení [9]:

- 1) Definujeme navrhovaný prostor pozemní komunikace, pro oblast komunikace, která bude podle návrhu zahrnuta. Podle rychlosti hlavního uživatele a dalších povolených či nepovolených uživatelů, vybereme z Tabulky světelných situací (viz Příloha č. X, Tab. X) určitý typ světelné situace (A1...E2).
- 2) Použijeme příslušnou tabulku pro danou skupinu světelné situace.
- 3) Přesně definujeme relevantní oblasti, které budeme pro konkrétní světelnou situaci přemítat. Dále je zapotřebí, abychom zvážili, jak danou oblast komunikace rozdělit a které části komunikace budou pro danou světelnou situaci vhodné. Nesmíme opomenout ani ty části komunikace, které odpovídají jiné skupině světelných situací (např. chodníky, komunikace pro cyklisty apod.). Chodníky se nezahrnují do relevantní oblasti, jestliže jsou skupiny světelných situací A1, A2 a A3, poněvadž osvětlení v okolí přilehlého jízdního pásu chodníky dostatečně osvětlí.
- 4) Podle prostorového uspořádání komunikace, vlivu dopravy a okolí, vybereme z Tab. X odpovídající rozsah třídy osvětlení.
- 5) Prostřednictvím Tab. X (viz Příloha č. X), zvolíme již konkrétní třídu osvětlení (např. ME3a). Vše se odvíjí podle výskytu konfliktní oblasti, rozsahu složitosti zorného pole, náročnosti navigace a míry okolního jasu.
- 6) Pro zvolenou třídu osvětlení (např. ME3a – Tab. X) zjistíme, pomocí normy 13201-2, požadavky pro námi navrhovanou část pozemní komunikace.
- 7) Použijeme všeobecná doporučení pro omezení oslnění, dosažení vysoké kvality podání barev a možnosti využití tříd osvětlení v sousedních oblastech.

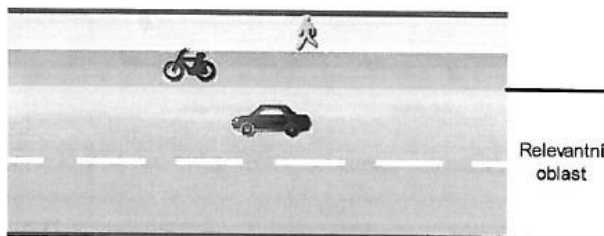
#### 3.1.1 Relevantní oblasti, určování parametrů a technická doporučení

Navrhujeme-li pozemní komunikaci, je nezbytná znalost přesných požadavků z okruhu určování relevantních oblastí pro danou skupinu světelných situací, obecně technických doporučení a charakteristických parametrů.

##### Určování relevantních oblastí pro skupinu světelných situací (A1,A2,A3)

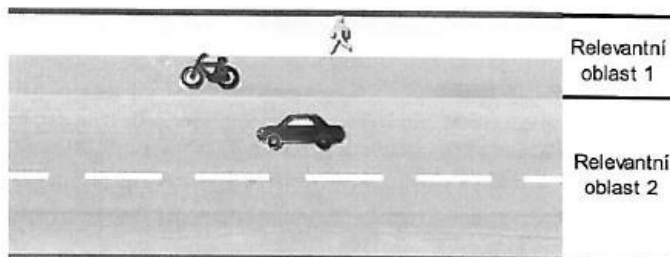
Pokud komunikace postrádá přidružený pruh (např. autobusový), přilehlé chodníky nebo cyklostezky, je šířka komunikace určena pomocí vnějších okrajů jízdního pásu, popřípadě obrubníky. Pokud je komunikace rozdělena směrově, šířka relevantní oblasti odpovídá šířce obou jízdních pruhů a středního dělicího pásu (má-li malou šířku). Je-li šířka dělicího pásu větší, než dovoluje norma, je potřeba řešit oba jízdní pásy samostatně. Pokud má daný úsek pozemní komunikace přidružené pruhy nebo zpevněné krajnice, můžeme tento úsek řešit odděleně (řešíme zvlášť jízdní pruh a zvlášť krajnice), popřípadě lze tento úsek považovat za celek. [9]

Přiléhají-li ke komunikaci chodníky či komunikace pro cyklisty, máme na výběr ze dvou možností řešení této situace. První možností je řešení pouze jízdního pásu, kdy chodníky jsou osvětleny činitelem osvětlení okolí přilehlého jízdního pásu (viz Obr. 7). [9]



Obr. 7: Jedna relevantní oblast (pouze jízdní pás)

Ve druhém případě (viz Obr. 8) řešíme chodník a komunikaci pro cyklisty samostatně a následně je navrhujeme pomocí skupiny světelných situací C1, E1, E2. [9]



Obr. 8: Dvě relevantní oblasti (navrhujeme odděleně)

### Určování charakteristických parametrů

Charakteristické parametry nám udávají základní požadavky na osvětlení, týkající se prostorového uspořádání, vlivu dopravy a vnějších vlivů. Na základě těchto hlavních parametrů, které spravují příslušné silniční správní úřady, tvoříme rozsahy tříd pro všechny skupiny světelných situací. [9]

### Obecná technická doporučení

Představuje soubor technických doporučení, která zajišťují kvalitu a stálost světelně technických parametrů, jenž odpovídají navržené třídě osvětlení. Jsou zde zahrnuty: možnosti omezení oslnění, podání barev, použití v noci, sousední oblasti.

### Omezení oslnění

Omezení oslnění je stěžejní záležitostí, kterou je nutno vždy splnit. Je-li osvětlení třídy ME/MEW, míra oslnění je dána prahovým přírůstkem. Pokud se jedná o ostatní kategorie tříd osvětlení, je doporučeno, používat třídy clonění a třídy oslnění, které jsou uvedeny v normě EN 13201-2. [9]

### Podání barev

Abychom dbali na bezpečnou navigaci řidičů a orientaci chodců v konkrétním úseku pozemní komunikace, musíme při návrhu zvážit výběr světelných zdrojů a dostačující velikost indexu podání barev. V městské oblasti je také kladen důraz na identifikaci osob a předmětů, se záměrem snížení kriminality. [9]

### Použití v noci

Zmíněné hodnoty parametrů, které definují jednotlivé třídy, platí jen ve tmě. Tyto parametry se však mohou v průběhu noci a ročního období obměňovat, jelikož dochází ke změnám intenzity dopravy a jasu okolí. Na základě těchto změn nám vycházejí pro různá časová období odlišné rozsahy dané třídy osvětlení. Díky vhodné regulaci hladiny osvětlení můžeme daný problém vyřešit, a to tak, že nebudeme dosahovat navržených hodnot osvětlenosti při snížené intenzitě dopravy. [9]

### Sousední oblasti

Jestliže navrhujeme a vybíráme osvětlení, kdy uvažujeme o více než jedné relevantní oblasti, musíme dodržet podmínku maximálního rozdílu třídy osvětlení v rozsahu dvou porovnatelných tříd v řešených (sousedních) oblastech. [9]

## 3.2 Požadavky na jednotlivé třídy osvětlení dle ČSN EN 13201-2

### Třídy osvětlení M

Dané třídy osvětlení platí pro řidiče motorových vozidel pohybujících se po pozemních komunikacích střední až vysokou povolenou rychlostí (viz Tab. 2). Kvůli přehlednosti byly z normy vybrány jen třídy osvětlení M, kterými se dále budeme zabývat.

Třída	Jas povrchu vozovky pro případ suchého povrchu			Omezující osvětlení	Osvětlení okolí
	$\bar{L}$	$U_0$ (minimální)	$U_1$ (minimální)	Tl v % (maximální)	SR (minimální)
M1	2,00	0,40	0,70	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	20	0,30

Tab. 2: Řada tříd osvětlení M [10]

**Jas povrchu komunikace** závisí na osvětlenosti povrchu pozemní komunikace, na jeho odrazných vlastnostech a na místě pozorovatele. [10]

**Průměrný jas ( $L$ )** vyjadřuje celkovou míru jasu, jenž působí na řidiče. Díky rostoucí úrovni jasu, se vizuální výkon zlepšuje na základě zvýšení kontrastní citlivosti, zrakové ostrosti a omezení oslnění. [10]

**Celková rovnoměrnost jasu ( $0\ U$ )** představuje obecné měřítko změny jasu, které nám říká, zda je daný povrch pozemní komunikace dostatečně vhodný pro pozadí dopravního značení a pro ostatní uživatele. [10]

**Podélná rovnoměrnost jasu ( $1\ U$ )** představuje měřítko viditelnosti opakujících se jasných a tmavých polí na komunikaci. Ovlivňuje zrakové podmínky na dlouhých nepřerušovaných úsecích komunikace. [10]

**Prahový přírůstek ( $TI$ )** vyjadřuje úroveň omezujícího oslnění, jehož zdrojem je dané svítidlo. Velikost míry oslnění závisí na typu svítidla (neboli druhu optiky), na druhu použitého světelného zdroje a na geometrickém uspořádání osvětlovací soustavy. Použijeme-li nízkotlakou sodíkovou výbojku nebo zářivku (zdroj s nízkým jasnem), můžeme, po dodržení poznámek pod čarou v Tab. X, připustit vyšší hodnotu prahového přírůstku. [10]

**Činitel osvětlení ( $SR$ )** okolí se používá pouze tehdy, nepřiléhají-li k řešenému úseku komunikace jiné komunikace s vlastními požadavky na osvětlení (např. chodníky, stezky apod.). [10]

### 3.3 Výpočet fotometrických parametrů dle ČSN EN 13201-3

Příslušné funkční fotometrické parametry lze stanovit pomocí postupu, který je uvedený níže. Tyto parametry nám definují jednotlivé třídy osvětlení uvedené v ČSN EN 13201-2. V ČSN EN 13201-3 jsou pak uvedeny dílčí vztahy pro výpočet osvětlenosti, eventuálně jasu pro konkrétní třídu osvětlení. Postup výpočtu fotometrických parametrů [11]:

1. Vstupní fotometrické údaje svítidla – klíčové údaje, popisující distribuci světelného toku daným svítidlem. Spadá zde: třída rozložení světelného toku (nejčastěji přímé), velikost světelného toku, křivky svítivosti.
2. Určení křivek svítivosti daného svítidla ( $i$ -tabulka) – stanoveno výrobcem, nebo se určí měřením. Chceme-li stanovit křivku svítivosti svítidla, jenž se nenachází v měřeném směru, je nutná interpolace. Ta může být buďto lineární nebo kvadratická (vyšší úhly od měřeného směru).
3. Určení odrazných vlastností povrchu ( $r$ -tabulka) – platí pro třídy osvětlení, kde vychází návrh osvětlení na základě stanovení jasů (pro třídy ME/MEW). Také zde se v případě potřeby uplatňuje princip interpolace hodnot.
4. Výpočet svítivosti v bodě  $I(C, \gamma)$  – při daném výpočtu svítivosti v bodě je nutno zohlednit: orientaci a rotaci svítidla, úhel sklonu při měření a při použití svítidla.
5. Výpočet osvětlenosti (pro třídy CE, A, S, EV, ES) – při tomto výpočtu je nutno brát v potaz: úhel dopadu světelného paprsku, součin stárnutí světelného zdroje a udržovací činitel svítidla, počáteční světelný tok všech světelných zdrojů ve svítidle a v neposlední řadě montážní výšku svítidla. Při výpočtu osvětlenosti i jasu musíme výstižně definovat výpočtové pole.

6. Výpočet jasů (pro třídu ME/MEW) – zde je potřeba zohlednit tytéž parametry jako při výpočtu osvětlenosti. Na rozdíl od výpočtu osvětlenosti, zde nebereme v úvahu pouze úhel dopadu paprsku, ale také redukovaný součinitel jasu, který se vypočteme na základě vztahu:

$$r = \frac{L}{E} \cdot \cos^3 \varepsilon$$

kde:  $L/E$  ... je součinitel jasu  $q$  (sr-1)

$L$  ... je jas (cd.m-2)

$E$  ... je osvětlenost (lx)

$\varepsilon$  ... je úhel dopadu paprsku (°)

7. Výpočet fotometrických vlastností – tyto vlastnosti se určují na základě vypočítané řady hodnot (mřížka hodnot), osvětlenosti a jasů. Jedná se o specifické fotometrické vlastnosti (např. podélná rovnoměrnost, prahový přírůstek, činitel osvětlení okolí), jenž specifikují světelně-technické požadavky konkrétní třídy osvětlení. Poměry pro výpočet fotometrických vlastností pro danou třídu osvětlení jsou uvedeny v závěru normy ČSN EN 13201-3.

### 3.4 Metody měření fotometrických parametrů dle ČSN EN 13201-4

Aby při měření fotometrických parametrů byly naměřené hodnoty co nejpřesnější, je potřeba správně nastavit měřicí přístroj a vzít v úvahu veškeré okolní vlivy (např. počasí, cizorodé světlo, ustálení parametrů apod.).

#### Zohlednění okolních podmínek měření

Před zahájením samotného měření je potřeba počítat s dobou náběhu světelného zdroje na danou hodnotu, která je závislá na typu použitého světelného zdroje. Jako další, je třeba zohlednit faktory, které různě ovlivňují světelný zdroj, jako například vlhkost (zhoršuje přesnost měřicího přístroje), okolní teplota (ovlivňuje velikost světelného toku) a povětrnostní podmínky (ovlivňuje polohu svítidla – kývání). Vlhkost má mimo jiné vliv také na velikost jasu povrchu vozovky. Je potřeba počítat také s absorpcí záření v atmosféře. Co se cizorodého světla týče, které může zasahovat do výsledků měření, je zapotřebí jej eliminovat buďto cloněním popřípadě úplným vypnutím. Měření vlhkosti, teploty, elektrického napájecího napětí a geometrických údajů (výška stožáru, rozteč svítidel) řadíme do nefotometrických měření. [12]

#### Měření osvětlenosti

Osvětlenost měříme tzv. *luxmetrem*, který je potřeba před daným účelem měření zkaliбrovat. Měříme-li pouze orientačně, není tato kalibrace nutná. Abychom zamezili clonění, které je zapříčiněno měřicí skupinou lidí, použijeme luxmetr s dálkovým ovládáním. Pro měření svislé a vodorovné osvětlenosti používáme fotometrickou hlavu pro měření rovinné. Pro měření poloválcové osvětlenosti je zapotřebí speciální hlava. Polokulovou osvětlenost můžeme změřit také prostřednictvím

fotometrické hlavy na rovinnou osvětlenost, kdy změříme nejdříve vodorovnou osvětlenost v bodě (na které se podílí všechna svítidla), poté nastavíme polohu fotometrické hlavy tak, aby paprsek svítidla dopadl kolmo na hlavu a my tak mohli vyloučit ostatní světlo. [12]

### **Měření jasu**

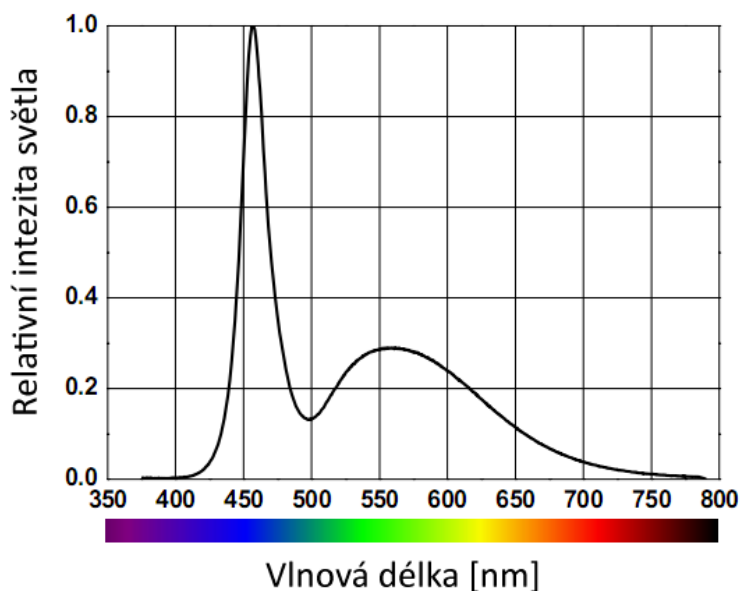
Také měření jasu musí být prováděno zkalibrovaným *jasoměrem* pro daný účel měření. Při měření jasu v jednotlivých bodech, by měl být jasoměr schopen omezit celkový úhel měřicího kužele na 2 obloukové minuty ve svislé rovině a 20 obloukových minut ve vodorovné rovině. Jestliže měříme průměrný jas komunikace pouze pomocí jednoho měření, je vyžadováno, aby byl jasoměr vybaven clonami. Úhel pozorování měřicího přístroje musí odpovídat  $89^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$  vůči normále povrchu. Může se stát, že naměřené hodnoty jasů v jednotlivých měřících bodech budou rozdílné. Je to dáno proměnnými odrazovými vlastnostmi povrchu vozovky. Proto v praxi častěji porovnáváme naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti, namísto jasů. [12]

## 4 Rozbor komponentů LED regulovaných svítidel veřejného osvětlení

### 4.1 LED svítidla

Světelné diody LED (z anglického Light Emitting Diode) se v osvětlování využívají stále ve větším měřítku. Můžou za to hlavně jejich světelně-technické výhody oproti jiným, zastaralejším světelným zdrojům. Např. oproti vysokotlaké sodíkové výbojce. Rozdílům těchto dvou světelných zdrojů se budu zabývat na konci této kapitoly.

LED se od klasických zdrojů světla velmi odlišuje fyzikálním principem. LED diody jsou polovodičové součástky, které obsahují PN přechod. Pokud je PN přechod buzen elektrickým proudem, emituje světelné záření. Polovodičový přechod vyzařuje jen velmi úzké spektrum.



Obr. 9: Vlnová délka bílé LED diody [2]

Výhodami LED svítidel je měrný světelný výkon, který u nejlepších diod může dosahovat až 230 lm/W. S tím souvisí velice nízká energetická náročnost oproti klasickým světelným zdrojům. Další výhodou je index podání barev (CRI), který u nejlepších výrobců může dosahovat hodnot až 98. U komerčních LED se ovšem CRI pohybuje pouze kolem 80 až 90.

Jednou z mála nevýhod LED ve VO je jejich pořizovací cena oproti klasickým světelným zdrojům. Je to dáno tím, že tato technologie je v praxi relativně mladá. Pořizovací cena oproti NAV by se ovšem měla do pár let srovnat. [1]

Dosažitelné charakteristické hodnoty LED				
Modrá	Bílá	Červená	Žlutá	Zelená
60 lm/W	Přes 200 lm/W	260 lm/W	Přes 500 lm/W	590 lm/W

Tab. 3: Porovnání maximálního dosažitelného měrného výkonu pro různé barvy LED [1]

Z tabulky 3 je zřejmé, že světelné diody budou v budoucnosti zabírat významné místo ve světelné technice.

## 4.2 Historie LED

První případy elektroluminiscence byly zaznamenány už v roce 1907, kdy jej upozoroval a publikoval britský vědecký pracovník Henry Joseph. Ten si při výzkumu hrotové diody, která byla vyrobena z materiálu na bázi polykrystalického karbidu křemíku s příměsí, upozoroval vznik světla různých barev blízko místa připojení kovového vodiče k elektrodě. V následujících letech byl stejný jev pozorován i u dalších materiálů, jako jsou křemík, germanium nebo oxid měďnatý.

Podrobněji popsal luminiscenci pozorovanou u usměrňovačů na bázi karbidu křemíku Oleg Vladimirovich Losev v meziválečném období. Upozoroval, že u některých diod vzniká světelné záření v závěrném směru a u některých v propustném i závěrném směru. Také dokázal, že světlo nevzniká na teplotním principu, ale na principu luminiscenčním. Je třeba podotknout, že hrotové diody nejsou přímým předchůdcem LED svítidel jaké používáme dnes.

K podrobnému porozumění fyzikální vlastnosti PN přechodu přispěl až vynález tranzistoru ve výzkumné společnosti Bell Labs v roce 1947. Díky těmto poznatkům se ve stejném výzkumnickém centru se v roce 1962 podařilo Nicku Holonyakovi vynalézt první červenou LED diodu. Tehdy se ovšem nemohla řadit mezi energeticky účinné zdroje světla, protože šířka zakázaného pásu odpovídala vyzařování v oblasti viditelného spektra.

V roce 1970 představil tým kolem Nicka Holonyaka kvartérní polovodiče a u těch se ukázalo, že tyto polovodiče umožňují vytvořit lepší kombinace krystalických mřížek a také, že nabízejí lepší využití zakázaného pásu. Díky tomu se zvýšil počet možných aplikací. Kvartérní polovodiče se dodnes využívají pro všechny komerčně nabízené vysoce svítivé LED, které vyzařují v červené a žluté oblasti spektra. Tyto poznatky, spolu se zlepšením výrobní technologie vedlo k velkému rozvoji LED.

Modrá LED dioda byla představena v roce 1991 japonským vědcem Shuji Nakamurou, který svůj objev založil na tehdy nové technologii výroby PN přechodů na bázi GaN, která spočívala v nanášení GaN vrstvy na safírový podklad. S následným použitím luminoforu společně s modrou LED diodou bylo možné vyrobit studenou i teplou bílou LED. Bílá LED dioda, je nejrychleji rozvíjející se světelným zdrojem současnosti. [13]



## 4.3 Bílé LED

### 4.3.1 Charakteristika bílých LED diod

Z tabulky č. můžeme vyčíst, že z bílých LED diod můžeme teoreticky získat měrný výkon přesahující 200 lm/W, tudíž jak už jsem napsal, bílé LED jsou nejrychleji vyvíjeným světelným zdrojem současnosti. Rychlost vývoje se odvíjí od výše investic do rozvoje polovodičové techniky. Například v Japonsku svědčí o důležitosti těchto světelných zdrojů fakt, že je vývoj bílých LED zahrnut ve vládním programu už od roku 1998 zaměřeném na snižování emisí skleníkových plynů. Hlavním cílem bylo dosažení světelného výkonu 60 až 80 lm/W v roce 2003, 120 lm/W v roce 2010 a hodnoty přes 200 lm/W až v roce 2020. Tato hodnota byla překonána už dokonce v roce 2013.

Princip bílé LED diody je založená na modrém LED čipu (GaInN/GaN) a fosforovém konvertoru. Záření ve viditelné oblasti, které vyzařuje polovodič, má modrou barvu. Část světla je distribuována přímo k pozorovateli a další část krátkovlnných fotonů je v prostoru zapouzdření absorbována a znovu emitována s delší vlnovou délkou v oblasti žlutého spektra. Vyzařované spektrum se skládá z fosforescence žlutého světla a z luminiscence světla modrého. Díky možnosti nastavování vzájemného poměru fosforescence a luminiscence je možné optimalizovat náhradní teplotu chromatičnosti, ale také měrný výkon (který se vzrůstající  $T_C$  klesá) a index podání barev (který s klesající  $T_C$  roste). [1]

### 4.3.2 Generování bílého světla

Bílé světlo lidské oko vnímá v tom případě, že jsou tři typy čípků na sítnici oka vybudeny v určitém poměru. Pro bílé světlo jsou trichromatické složky umístěny v blízkosti centra trichromatického trojúhelníku. Generování bílého světla pomocí LED je možné principiálně dvěma způsoby:

#### **Mísení monochromatických LED:**

Mísením několika komplementárních vlnových délek v závislosti na požadavcích na kvalitu světla. Když se smísí dvě vlnové délky, vznikne dichromatický zdroj. Mísením tří monochromatických LED zářičů (například RGB) vznikne trichromatický světelný zdroj. Zvýšením počtu monochromatických složek se zvýší kvalita barevného podání výsledného bílého světla.

#### **Konvertor vlnových délek:**

Při vyzařování na kratší vlnové délce (nejčastěji modrá oblast) je část světla pohlcena v konvertorovém materiálu a poté je znovu vyzařena jako světelné záření s delší vlnovou délkou. Nejčastěji jsou používány konvertory na bázi fosforu (viz Obr. 10).

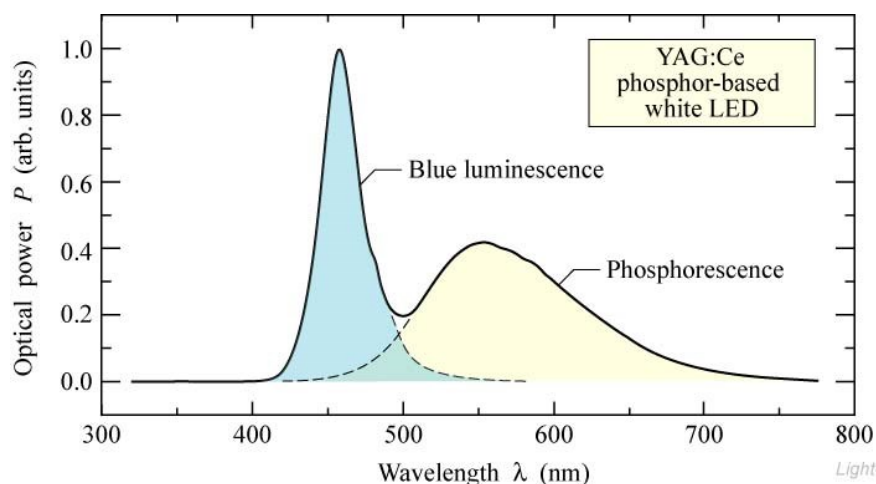


Fig. 21.8. Emission spectrum of a phosphor-based white LED manufactured by Nichia Corporation (Anan, Tokushima, Japan).

E. F. Schubert  
*Light-Emitting Diodes* (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

Obr. 10: Vlnová délka s konvertorem vlnových délek [22]

#### 4.4 Porovnání LED svítidla se svítidlem NAV

Typ svítidla	Vysokotlaká sodíková výbojka (70 W)	LED svítidlo
Popis	Hodnota	Hodnota
Měrný světelný výkon (lm/W)	70-84	200 a více
Index podání barev	25	62-98
Teplota chromatičnosti (k)	2 000 až 2 500	2 500 - 4 000 u teplých odstínů 5 000 - 10 000 u chladnějších odstínů
Doba života (h)	Nad 20 000	Až 100 000
Náběh	5 s	0,01 s

Tab. 4: Porovnání LED a NAV svítidel [14]

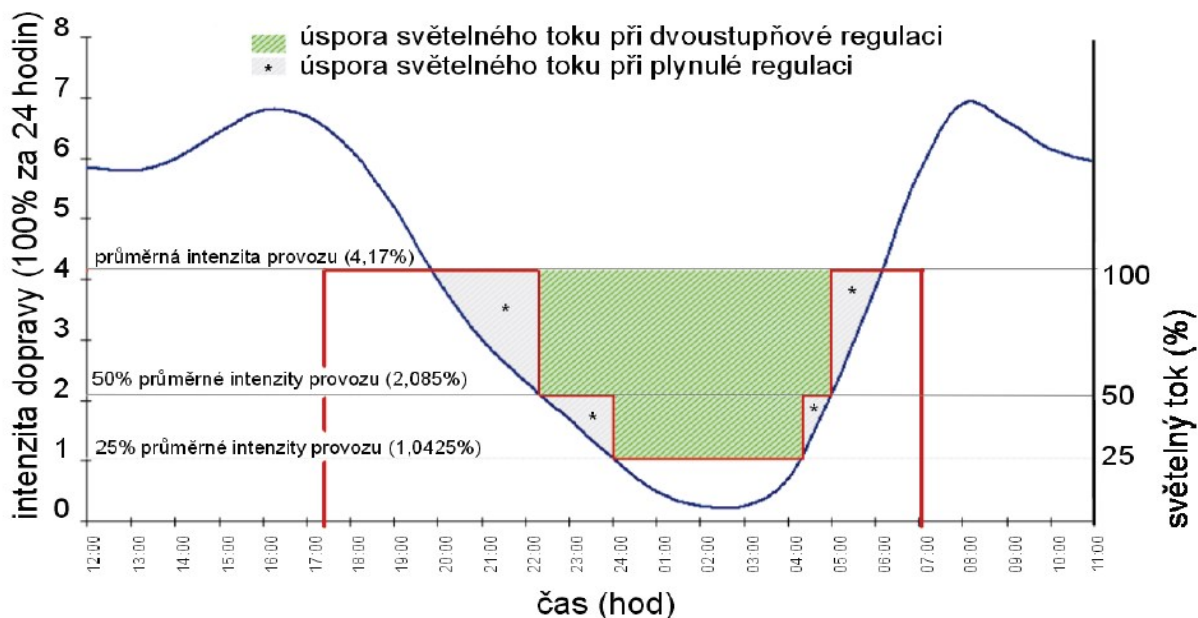
Z tabulky je zřejmé, že LED svítidla jsou výhodnější skoro ve všech směrech. Má vyšší měrný světelný výkon, vyšší index podání barev a také vyšší dobu života. Velký rozdíl je také v době náběhu, proto se také LED používají v automobilovém průmyslu v oblasti brzdových světel.

## 5 Možnost řízení veřejného osvětlení

Při návrhu osvětlovacích soustav VO se snažíme dosáhnout toho, aby soustava byla navržena co nejkvalitněji, za co nejnižší pořizovací náklady. A také, aby náklady na její provoz byly co nejnižší, tzn. aby měla co nejnižší energetickou náročnost. Pokud chceme kvalitní osvětlovací soustavu, tak na pořizovacích nákladech ušetřit moc nejde, a proto je dobré, abychom při jejím provozu byli schopni dosáhnout co největších energetických úspor pokud to situace umožňuje. Obvykle v nočních hodinách, kdy nejsou tak velké nároky na osvětlení, lze soustavu řídit a tím dosáhnout energetických úspor. Správným řízením můžeme dosáhnout až 30-40% úspory energie.

Další výhodou možnosti řízení VO je, že při správném řízení lze prodloužit dobu života výbojek a zářivkových trubec. Tyto zdroje časem "stárnou" a během jejich života se jim snižuje světelný tok. Při návrhu se počítá s udržovacím činitelem 0,7. To v praxi znamená, že počáteční hladina osvětlení je o 30% vyšší než na jakou je soustava navržena. Pomocí plynulé regulace osvětlení můžeme oddálit konec ekonomického života světelného zdroje. (Jakmile se aktuální osvětlenost dostane na projektovanou úroveň). A také díky tomu můžeme dosáhnout 10-15% úspory elektrické energie.

Při návrhu osvětlení neznáme mnoho parametrů, proto se často používají předpokládané parametry. Kvůli těmto neznámým se velice často stává, že navržená osvětlovací soustava je předimenzovaná. To znamená, že vyžaduje mnohem lepší vlastnosti, než vyžaduje norma. Díky systému plynulé regulace se zpětnou vazbou můžeme předimenzovaní regulovat a tím dosáhnout lepší energetické náročnosti. [2]



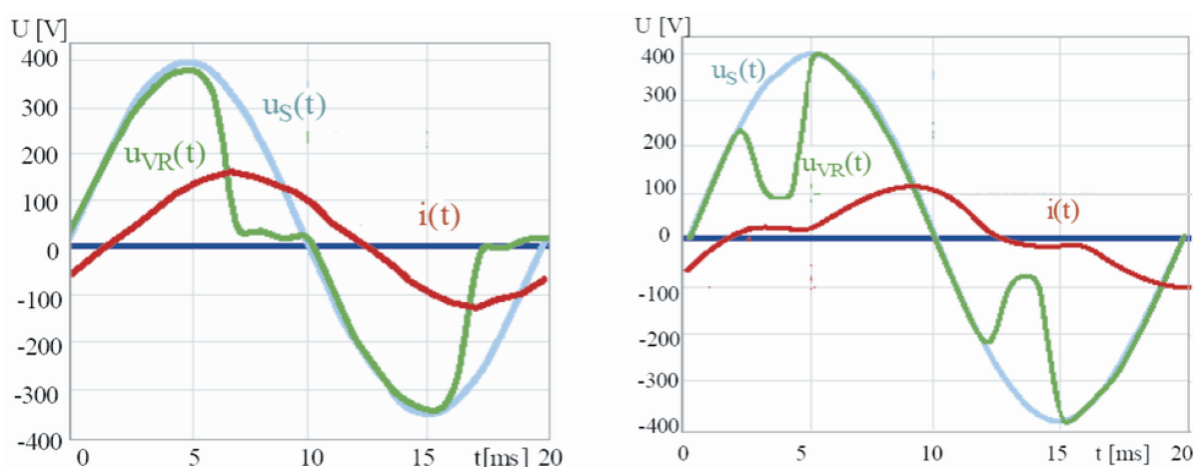
Obr. 11: Příklad regulace osvětlovací soustavy komunikace v závislosti na intenzitě provozu[2]

## 5.1 Základní systémy regulace světelného toku

Základními druhy regulace světelného toku byly dlouhou dobu fázová a amplitudová regulace, které se používaly u vysokotlakých sodíkových výbojek. V poslední době se s rozvojem LED technologie připojila pulsně šířková regulace, která umí tuto polovodičovou technologii řídit.

### Fázová regulace

U fázové regulace se mění efektivní hodnota napětí. U této regulace se nemění amplituda napětí, ale pouze vzestupná (NCWI) nebo sestupná (AWI) část sinusového průběhu. Průběh části sinusového signálu se mění pomocí jednofázového měniče, který bývá součástí elektronického předřadníku. Na obr. lze vidět, jak se mění průběh ve vzestupné části sinusoidy, respektive v sestupné části. [14]



Obr. 12: Změna efektivní hodnoty napětí při fázové regulaci se systémem AWI (vlevo) a NCWI (vpravo) [2]

Systém NCWI je vhodný skoro pro všechny typy výbojových zdrojů, ale moc se v praxi se využívá méně než systém AWI. Ten se využívá hlavně u vysokotlakých sodíkových výbojek, které jsou u nás nejčastějším světelným zdrojem

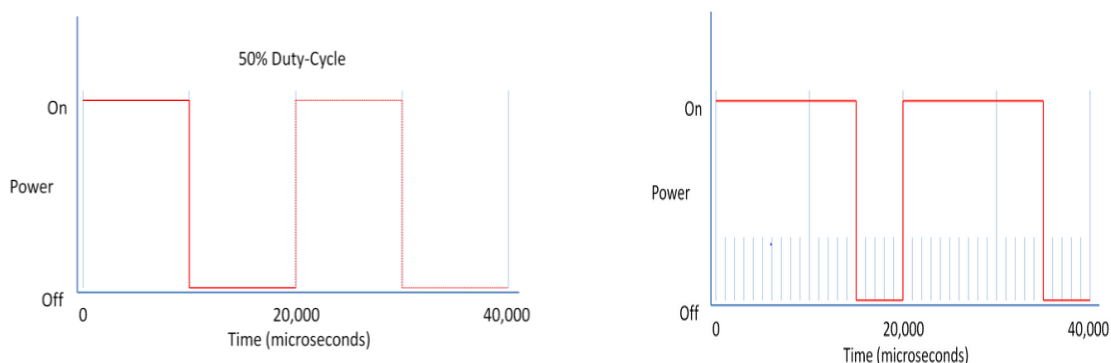
### Amplitudová regulace

U amplitudové regulace dochází také ke změně efektivní hodnoty napětí. V tomto případě to je to změnou amplitudy napětí. Změny amplitudy je založena na bázi transformátorové regulaci napětí. Tento systém je vhodný hlavně pro plynulou regulaci u vysokotlakých sodíkových výbojek, které pracují s konvenčními předřadníky s úrovní do 180V.

Změna intenzity dopravy může vést ke snížení osvětlení komunikace. Tuto změnu hlídají regulační jednotky s rozdílnou mírou inteligence. Míra inteligence je dána lokalizací měřících a akčních členů a také jejich četností. Výběr regulačního systému je závislý na potřebách provozovatele, charakteristikou osvětlovací soustavy, provozních nákladech a také počáteční investicí. [14]

### Pulsně šířková modulace (PWM)

Tato modulace se používá především u LED diod. Reguluje velikost světelného toku pomocí změny střídavy obdelníkového signálu. Střída ukazuje poměr mezi dvěma úrovněmi signálu. (zapnuto - vypnuto). Vypočítá se vydělením délky trvání jednoho pulsu a délkou jedné periody. Čím vyšší bude délka jednoho pulsu, tím vyšší bude světelný tok LED svítidla. Hlavními parametry PWM regulace je doba trvání jedné periody a rozlišení regulace. U veřejného osvětlení se nejčastěji volí krok 2 ms, protože je to hodnota 50 Hz (frekvence sítě). Kdyby byla frekvence o hodně nižší než 50 Hz, tak by generované světlo připadalo lidskému oku jako blikající. [14]



Obr. 13: Ukázka poměru třídy mezi stavem zapnuto a vypnuto v poměru 50% a 75%

Tato regulace se používá jen u LED diod. U LED driverů lze pevně nastavit přesný čas regulace příkonu na dobu, kdy bude snížena hustota provozu. Příkon také lze regulovat online pomocí rozhraní DALI. Podmínkou pro regulaci příkonu LED u veřejného osvětlení je, aby bylo každé LED svítidlo vybaveno LED driverem. Ty poskytují konstantní zdroj proudu pro různě velikou zátěž.



Obr. 14: Ukázka stmívatelného LED driveru [18]

## 5.2 Ovládací systém veřejného osvětlení

Ovládací systém má za úkol spolehlivě zapnout a vypnout podle spínacího kalendáře VO, zkontrolovat stav (svítí-nesvítí) a také regulovat, v nejlepším případě z jednoho místa. Ovládání se zpravidla provádí: [17]

- samostatnými ovládacími kabely od hlavního zapínacího místa
- kaskádním spojením (zapnuté VO od posledního stožáru zapíná další rozváděč)
- systémem HDO
- časovými spínači (hodinami - méně vhodné, časté přestavování)
- fotoelektrickým spínačem (při dobrém seřízení - vhodnější než spínací hodiny)
- ručním zapínáním a vypínáním (neučívá se v praxi)

## 6 Výpočty chování řízené osvětlovací soustavy na polygonu VŠB-TU Ostrava

Polygon v areálu VŠB-TU Ostrava testuje tzv. "Smart Light" technologii. Když se podíváme na výše zmíněné "chytré" osvětlení, musíme změnit celkový pohled na jednotlivé prvky, a také pohled na celou soustavu. Cílem praktické části je potvrdit výhody LED svítidel. Veškeré výpočty byly prováděny v programu RELUX. Program dále simuloval prostředí polygonu a vyhodnocoval parametry svítidel, které jsou součástí polygonu parkoviště u budovy Fakulty elektroniky a informatiky (dále jen FEI).

### 6.1 Prvky "smart light"

- **Sloup veřejného osvětlení** – sloup už není jen konec soustavy, na kterém je pouze lampa, jak tomu bylo doposud. Naopak, každý sloup je začátkem, který tvoří základní bod informační a energetické soustavy. Sloup má nově novou funkci, a to že poskytuje nejen světelnou energii, ale také zajišťuje datovou konektivitu, v kombinaci s kamerou další služby pro bezpečnost, senzoriku apod. Z toho vyplývá nový požadavek - sloup musí být pod napětím i během dne a svítidlo se vypíná a zapíná pomocí datového signálu.

- **Přenos dat** – Přenos dat je zajištěn pomocí sítě ETHERNET, po které je připojen internet do každého počítače po celém světě. Díky této síti je zajištěna ideální konektivita mezi polygonem a řídicím centrem.

- **Napájecí přenosová soustava** – Největší změnou je, vypnutí a zapnutí VO už neprobíhá pomocí spínacího prvku v příslušném rozvaděči, elektrická energie je poskytována 24h denně. Další důležitý požadavek je na datovou konektivitu. Z toho vyplývá, že by souběžně s rozvodem elektrické energie, měly vést i datové vodiče. Pokud provádíme kompletní rekonstrukci veřejného osvětlení, a to včetně zemních prací, je vhodné doplnit vedení o optický kabel. Pokud provádíme jen částečnou rekonstrukci (výměna pouze svítidel) a nelze přidat zemní vedení v podobě optického kabelu, lze použít jinou metodu přenosu např. Wi-Fi, PowerLine (přenáší data po fázovém vodiči), bezdrátový přenos.

- **Svítidlo VO** – I na samotná svítidla VO jsou kladeny nové požadavky. Řídicí obvod svítidla by měl mít možnost přímého připojení k síti Ethernet. Pokud má starší typ regulace (např. PWM, DALI) je nutné, aby byl sloup vybaven **převodníkem** (např. ethernet-dali). Převodníkem je vybaven i polygon v areálu VŠB-TU Ostrava. Nevýhodou soustavy s převodníkem oproti soustavě s přímým připojením k síti ethernet je ta, že soustavy s převodníkem přenášejí informace jen jedním směrem, a to směrem ke svítidlu. Problém je v našem případě vyřešen pomocí rozšiřujících modulů. V tomto konkrétním případě pomocí kamer. Jejich funkci si rozebereme v dalších odstavcích.

- **Rozšiřující moduly** – Používají se, pokud sloupy nejsou plně vybaveny a tak se musí použít rozšiřující moduly, aby doplnily informace o dané soustavě. Patří mezi ně - kamery, Wi-Fi spoty, nabíječky, meteorologie, SOS tlačítko nebo městský rozhlas. Pojďme si rozebrat tyto moduly podrobněji.

- **Kamery** – Je to nejčastěji používaný doplňující modul. Kamery mohou být umístěné v tělese svítidla nebo upevněny v dolní části sloupu v propojení s dokonalou optikou. Tyto nemusí sloužit

pouze jako bezpečnostní systém. Ve spojení se sofistikovanými softwary, které vyhodnocují informace z kamer, je lze použít k řízení intenzity osvětlení podle hustoty provozu. Tyto informace lze uchovávat a později použít pro statistická vyhodnocování o hustotě dopravy nebo obsazenosti parkovišť apod.

- **Wi-Fi spoty** – Pokud je sloup vybaven vysokorychlostním ethernetovým připojením, lze připojit i Wi-Fi modul a ten bez dalších nákladů poskytne internet svému okolí.

- **Nabíječky** – V budoucnu budou určitě žádané nabíječky různých typů. Nejvíce žádané budou USB nabíječky telefonů a v budoucnu s rozvojem elektro kol a elektromobilů bude zájem o typy nabíječek pro tyto dopravní prostředky.

- **Meteorologie** – Stanice mohou mít jen základní meteorologické moduly (atmosférický tlak, teplota, vlhkost, směr a rychlost větru) nebo také přídavné senzory pro složitější měření (koncentrace škodlivých plynů, prašnost nebo velikosti ozónu)

- **SOS tlačítko** – Bude velmi vhodné pro zvýšení bezpečnosti. Po zmáčknutí SOS tlačítka bude možné okamžité navázání spojení s operátorem. [16]



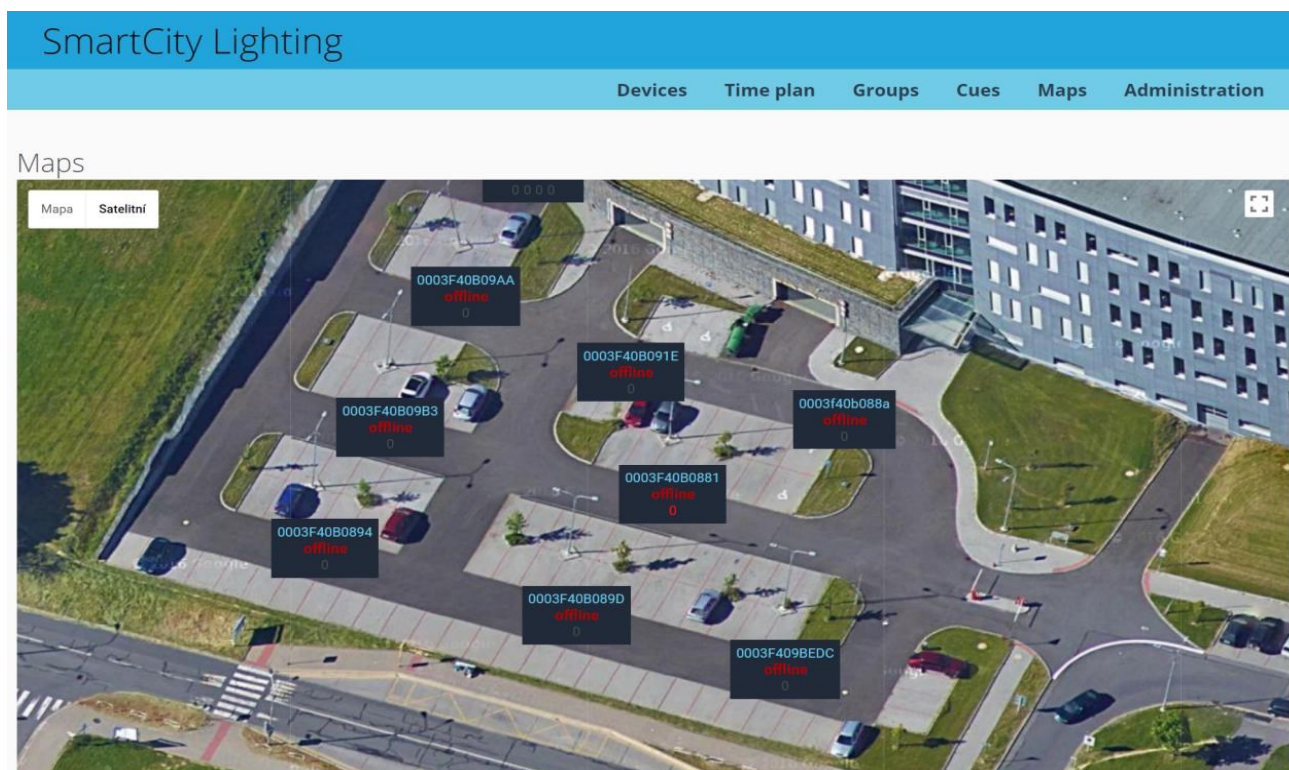
Obr. 15: Představa polygonu s využitím plného potenciálu [16]

## 6.2 Obecná charakteristika testovacího polygonu na parkovišti FEI

Zkušební polygon je situován v lokalitě parkoviště vedle nové budovy FEI . Disponuje 20 svítidly, centrální řízení je umístěno v "Laboratoři technologie Broadband<sup>LIGHT</sup> pro koncept SMART City a průmysl 4.0". Je to jedinečný polygon, co se týče evropského měřítka. Je orientován pro potencionální zájemce, demonstraci funkčnosti a jedinečnosti, dlouhodobé měření neb pro ukázky.



Disponuje 16 testovacími pozicemi. Jedná se o 10 stožárů, 7 pozic se dvěma svítidly kvůli referenci a tři svítidla jsou umístěny samostatně. Jejich rozložení lze vidět na Obr. 16. [16]



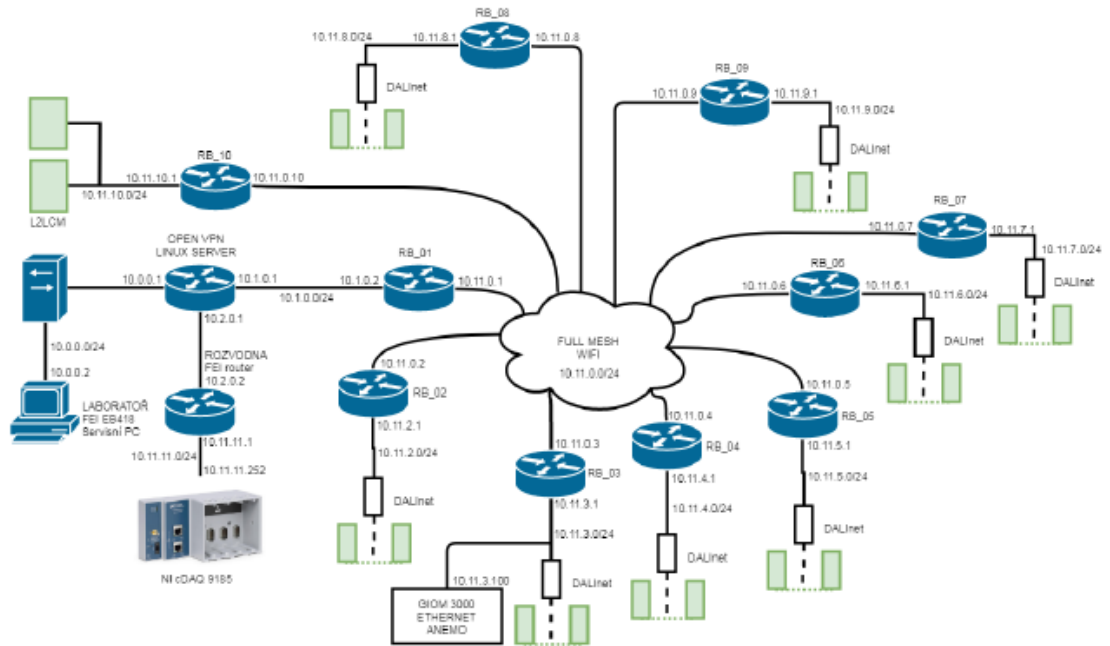
Obr. 16: Zkušební polygon Broadband<sup>LIGHT</sup> parkoviště FEI, VŠB-TU Ostrava [16]

V rámci zkušebního polygonu jsou využity všechny typy technologií pro zajištění datové komunikace (mobilní síť, optická síť a poweline komunikace) s "laboratoří technologie Broadband<sup>LIGHT</sup>". [16]

Podrobnější popis polygonu a svítidel, které se v něm nacházejí, rozebírám v kapitole 6.3.

### 6.2.1 Popis soustavy polygonu

Centrem sítě je OPEN VPN Linuxový server, jenž se nachází v laboratoři EB418 a funguje jako propojení mezi servisním PC, rozvodnou a testovacím polygonem. Prostřednictvím vodiče je síť připojena po router RB\_01. V každém sloupu je obsažen Wi-Fi router, který umožňuje komunikaci jak s řídicí laboratoří, tak mezi jednotlivými sloupy navzájem. Tato síť se nazývá FULL MESH WIFI a je bezdrátová.



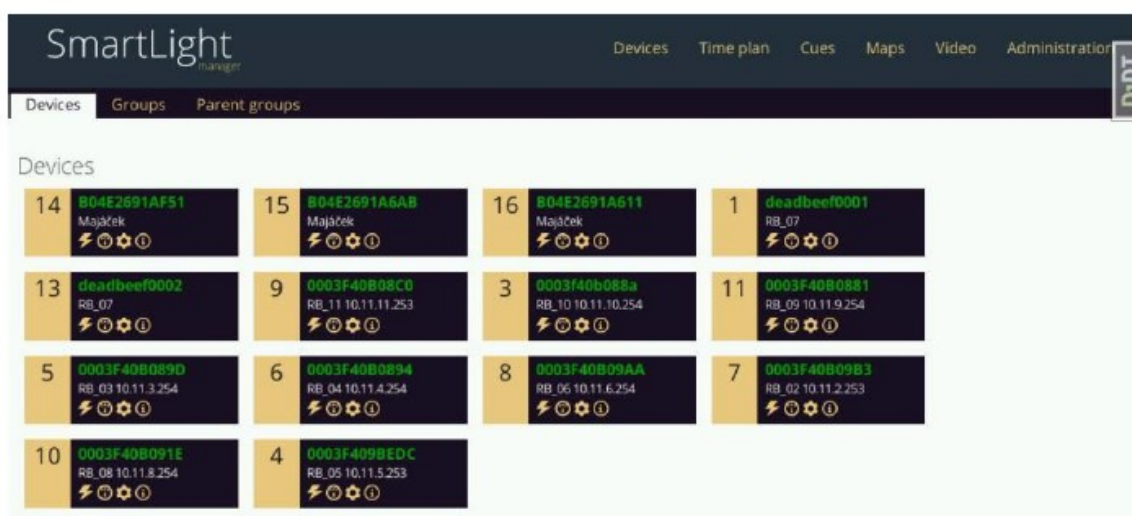
Obr. 17: Topologie sítě polygonu [20]



Obr. 18: Pohled pro obsluhu zkušebního polygonu [16]

### 6.2.1.1 Server

Server tohoto celého systému je umístěn v budově Fakulty Elektrotechniky a Informatiky (dále jen FEL) v tzv. rozvodně. Server běží na Linuxové distribuci Debian. Serverové PC fungují jako databáze jednotlivých dat polygonu, MQTT broker (Eclipse Mosquitto), webserver (Apache http Server, Daphne 2. 1. 0., Django) a hlavně jako centrální bod celého systému. K ovládání polygonu slouží webová aplikace, která je dostupná po zadání IP adresy serveru přímo z prohlížeče. Prostřednictvím této aplikace je možné sledovat aktuální stav systému, řídit polygon, vytvářet harmonogram provozu parkoviště, monitorovat kamerové náhledy nebo zobrazit jednotlivé stožáry pomocí Google map. [20]



Obr. 19: Ukázka webové aplikace, ze které se ovládá testovací polygon [20]

### 6.2.1.2 Rozvaděč osvětlení na sloupu

Každému sloupu náleží vlastní rozvaděč, jenž je upevněn a situován pod výložníkem svítidla. Každý rozvaděč obsahuje tyto složky: [20]

**DALIpwr** – Je zdrojem napájení sběrnice DALI. Výstupní proud pro napájené jednotky může vystoupat až na 240 mA.



Obr. 20: Dalipwr 240mA [19]

**MeanWell EDR-120-24V** – Jedná se o napájecí zdroj, kterým lze napájet veškeré komponenty v rozvaděči. Jde o spínavý zdroj, kde maximální výstupní proud je 5 A.



Obr. 21: Napájecí zdroj EDR-120-24V [8]

**Mikrotic 962UiGS** – Router, kterým lze komunikovat s ostatními elementy v testovacím polygonu (Dual Band Wi-Fi router). Tento router obsahuje dvě rádiové části, navzájem integrované, jenž podporují 802.11a/b/g/n/ac a umožňují provoz v obou pásmech zároveň. Rádiová část 2,4 i 5 GHz podporuje až 3x3 MIMO. Součástí routeru je 5x Gigabit Ethernet a 1x SFP. Poslední port poskytuje funkci PoE Out pro napájení.



Obr. 22: Wi-Fi Router Mikrotic 962UiGS [21]

**DALInet** – Jedná se o převodník, který převádí Ethernet na DALI sběrnici. Poskytuje nám možnost zasílat příkazy na DALI skrz síť polygonu. Tento převodník je zapojen do Wi-Fi routeru



Obr. 23: DALInet [7]

### 6.2.2 Možnosti zkušebního polygonu Broadband<sup>LIGHT</sup>

a) Základní měření testovacího polygonu v rámci rozvaděče v plném rozsahu:

- měření spotřeby elektrické energie
- kvalita elektrické energie
- měření činitele harmonického zkreslení dle ČSN 61000-4-7, ČSN EN 50160.

b) Testování svítidel:

- možnost stmívání na základně řízení nadřazenými systémy - úspora elektrické energie
- dlouhodobý provoz
- měření světelných vlastností

c) Testování technologie komunikace viditelným světlem VLC pro vnitřní a venkovní použití.

d) Aplikovatelnost SMART technologií

- kamerové systémy
- nabíjecí systémy
- senzorické systémy
- obnovitelné zdroje energie [16]

## 6.3 Typy svítidel a jejich rozmístění na testovacím polygonu

Model parkoviště polygonu FEI byl vytvořen v programu RELUX (viz Příloha č. 1). Testovací plochy jsou označeny žlutě a popsány písmeny A a B. Vyhodnocované plochy mají délku 36m a šířku 6m. Při výpočtech bylo počítáno jen s přímou složkou a odrazností asfaltu 7 %. U ploch budu vyhodnocovat průměrný jas a celkovou rovnoměrnost jasů. Dále se zaměřím na porovnání nových LED svítidel s původními svítidly NAV. Jednalo se o svítidla Thorn Riviéra.

Oba úseky jsou osvětleny LED svítidly, které jsou regulovány předřadnými přístroji. Na parkovišti se nachází 3 druhy LED regulovatelných svítidel. Jedná se o svítidla: přechodové svítidla Artechnic-Schreder Teceo – 2ks, Artechnic-Schreder Teceo –5ks, Thorn R2L2 – 6ks a Boos Naica – 3ks.





Obr. 24: Model testovacího polygonu

Na obrázku 24 si můžeme všimnout, že svítidla Schreder Teceo nejsou stěžejní pro výpočty vyhodnocovacích ploch. Je to proto, že plochu A nejvíce ovlivňují svítidla Thorn R2L2, které jsou na obrázku označeny modře. Svítidla, která mají největší vliv na plochu B, jsou Boos Naica.

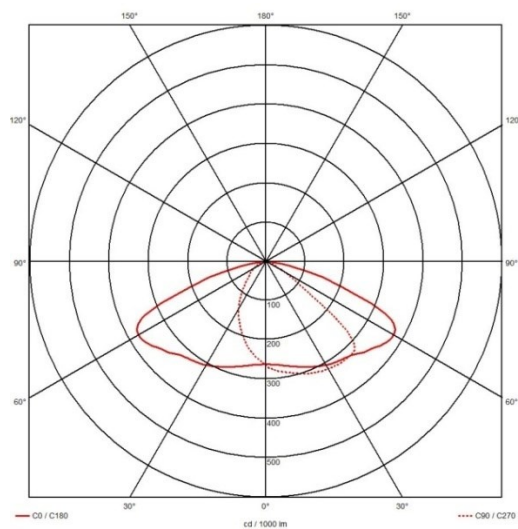
### 6.3.1 Vlastnosti použitých svítidel a jejich porovnání s původním typem svítidla

Na nasvětlení testovacího polygonu parkoviště se podílely tyto tři firmy, které se zaměřují na výrobu svítidel: Boss, Artechnic-Schreder a Thorn Lighting. Pro splnění požadavků třídy osvětlení M1 podle normy ČSN EN 13201-2, byly dodány náležité příkonové varianty daných svítidel.

Vzhledově si jsou všechna tato světla velice podobná, a co se týče dílenského zpracování, je na velmi dobré úrovni. Svítidla mají totožnou životnost LED modulů. Při analýze energetických ukazatelů a světelně-technických parametrů budeme očekávat lineární závislost mezi světelným tokem a příkonem. V tabulce 5, která se nachází níže v podkapitole 6.3.3, je zahrnuto také původní svítidlo Thorn Riviéra. Tabulka porovnává kvantitativní a kvalitativní parametry svítidel.

Všechny parametry zmíněných svítidel pocházejí z katalogů jednotlivých výrobců. Jednotlivé katalogové listy jsou dostupné v Příloze č.2. Parametry u svítidla Boss bylo potřeba vyhledat ve výpočetním programu Relux (Příloha č. 1) a na stránkách výrobce Boss.

## Thorn R2L2

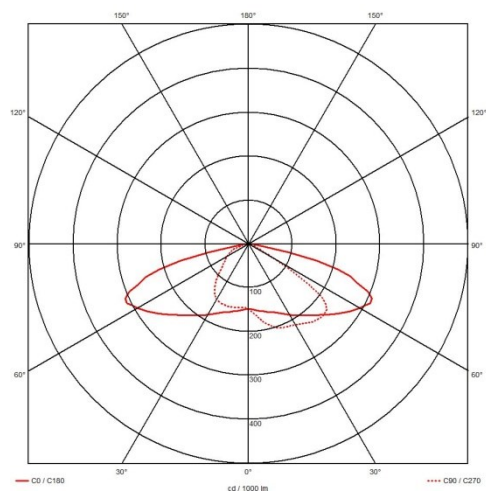


Obr. 25: Křivka svítivosti Thorn R2L2



Obr. 26: Svítidlo Thorn R2L2

## Boos Naica

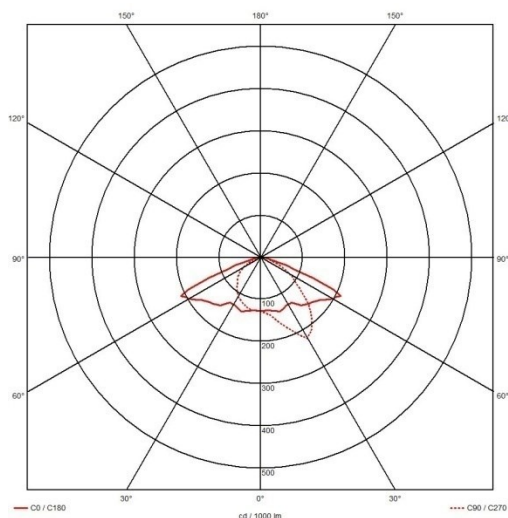


Obr. 27: Křivka svítivosti Boos Naica



Obr. 28: Svítidlo Boos Naica

## Thorn Riviéra



Obr. 29: Křivka svítivosti Thorn Riviéra



Obr. 30: Svítidlo Thorn Riviéra [15]

### 6.3.2 Porovnání křivek svítivosti

Nejvhodnější křivku svítivosti pro nasvětlení má svítidlo Thorn R2L2, které má nejlepší svítivosti do obou C rovin (C0-C180 a C90-C270).

Thorn Naica má křivku svítivosti podobnou jako tradiční silniční optiky: Vyzařuje jen velmi málo před sebe.

Svítidlo Thorn Riviéra má tradiční silniční křivku svítivosti. Vyzařuje hlavně v podélné ose, aby bylo zajištěno dostatečné nasvětlení mezi dvěma stožáry. V rovině C90-C270 dosahuje stejných parametrů jako LED svítidlo Naica, ale v ose C0-C180 se jim nemůže rovnat.

### 6.3.3 Kvalitativní a kvantitativní parametry svítidel

Kvantitativní a kvalitativní parametry	Svítidlo		
	Riviéra (Thorn)	R2L2 (Thorn)	Naica (Boos)
Příkon P (W)	170	91	167
Světelný tok $\Phi$ (lm)	11270	11706	20640
Měrný výkon sv. $\eta$ (lm.W-1)	66	128	124
Tc (K)	2000	4000	4000
Účinnost svítidla (%)	64,4	-	86
Ra (-)	25	70	70
T(h)	32000	100000	100000
IP (optiky/sv.)	66/44	66/66	66/66

Tab. 5: Porovnání parametrů svítidel



Jak si můžeme všimnout, nejhůře dopadlo srovnání kvalitativních a kvantitativních parametrů u původního svítidla Thorn Riviéra. Svítidlo obsahuje vysokotlakou sodíkovou výbojkou VIALUX, jejíž měrný výkon je 115 lm/W. Zato výsledný měrný výkon svítidla je téměř o polovinu menší 66lm/W, což je zapříčiněno nízkou účinností svítidla. Ta je způsobena plochým tvrzeným sklem, které znemožňuje paprskům z výbojky procházet kolmo normálou skla, a dále vysokými činnými ztrátami elektromagnetického předřadníku (ztráta 20W). Kvůli vysokotlaké sodíkové výbojce má Riviéra také nízkou užitnou životnost a je potřeba výměny každé 3 až 4 roky. Mimo to také vykazuje nízký index podání barev. Díky těmto poněkud zásadním nedostatkům, má Thorn Riviéra nejhorší vlastnosti ze všech porovnávaných svítidel.

Obě LED svítidla, které jsme zvolili, mají buďto obdobné nebo shodné kvantitativní parametry. Téměř totožné jsou například hodnoty měrných výkonů, kdy Thorn má jen o 4 lm/W vyšší výkon. Svítidlo Naica dominuje svým světelným tokem, který je oproti svítidlu R2L2 téměř dvojnásobný. Jelikož je rozteč na úseku Naica realizovaná jen jako jednostranná osvětlovací soustava, bylo úmyslně vybráno svítidlo Naica, které disponuje vyšším světelným tokem. Thorn, který je výrobcem svítidla R2L2, neuvádí účinnost optiky.

Oproti kvantitativním parametrům, které jsou u zvolených LED svítidel spíše srovnatelné, parametry kvalitativní (Ra, Tc, T, IP) jsou totožné. Jediný parametr, který se u zvolených svítidel liší, je odolnost vůči nárazům (IK). Nejvyšší hodnotu IK má Naica.

Všechny parametry zmíněných svítidel pocházejí z katalogů jednotlivých výrobců. Jednotlivé katalogové listy jsou dostupné v Příloze č.2.

## 6.4 Výsledky výpočtů vzhledem k požadavkům normy ČSN EN 13201-2

Kvůli charakteru prostoru, v němž se parkoviště FEI nachází, nebyla podle požadavků normy vyhodnocována hodnota činitele osvětlení okolí. Podélná rovnoměrnost nemohla být vypočítána kvůli definici výpočtového rastru modelu. LED svítidla jsou konstruována tak, že není možné překročit hodnoty prahového přírůstku. Níže jsou vedeny kvantitativní parametry (jasy), které byly určeny podle Přílohy č. 1 a dále přepočteny na jasové hodnoty prostřednictvím vztahů:

$$L_m = E_m * q_0$$

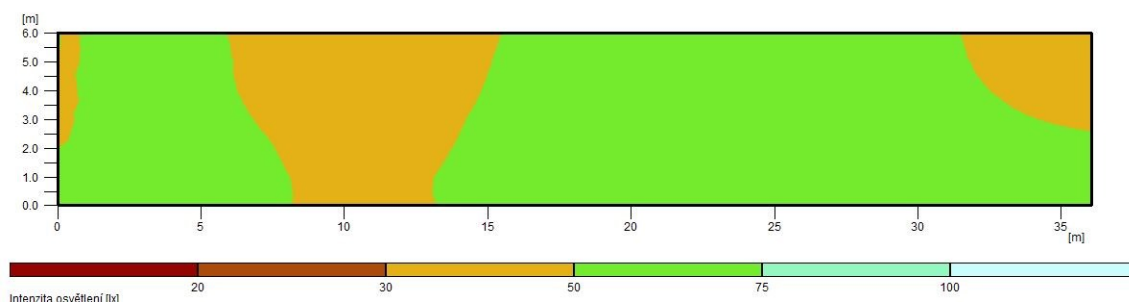
kde  $E_m$  - průměrná udržovaná hodnota osvětlenosti (lx)

$q_0$  - odrazné vlastnosti asfaltového povrchu: 0,07 (-)

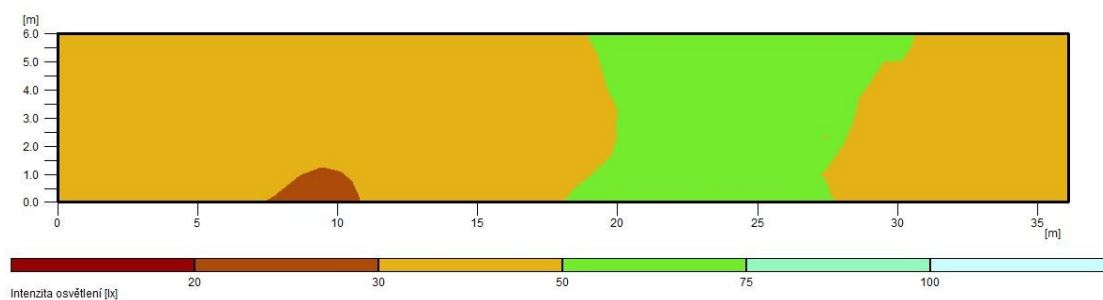
$L_m$  - průměrná udržovaná hodnota jasu ( $\text{cd.m}^{-2}$ )

#### 6.4.1 Vyhodnocení modelu úseku A (Thorn R2L2)

Osvětlovací úsek A, se nachází uprostřed testovacího polygonu parkoviště u FEL. Úsek je osvětlován z obou stran svítidly Thorn R2L2, které mají na vyhodnocovací oblast největší vliv. Na Obr. 31 a obr. 32. je zobrazeno rozložení osvětlenosti v pseudobarvách. Jedná se o porovnání Thorn R2L2 a původního svítidla: Thorn Riviéra.



Obr. 31: Rozložení vypočtené udržované osvětlenosti úseku A - nový stav



Obr. 32: Rozložení vypočtené udržované osvětlenosti úseku A - původní stav

Typ svítidla		Požadované hodnoty dle normy ČSN EN 13201-2 (třída osvětlení M1)	
		Průměrný jas $L(\text{cd/m}^2)$	Celková rovnoměrnost jasu $U0 (-)$
	Požadovaná (udržovaná) hodnota	$\geq 2$	$\geq 0,4$
NAV (Riviéra)	Vypočtená (udržovaná) hodnota	3,1	0,66
LED (R2L2)	Vypočtená (udržovaná) hodnota	3,7	0,77

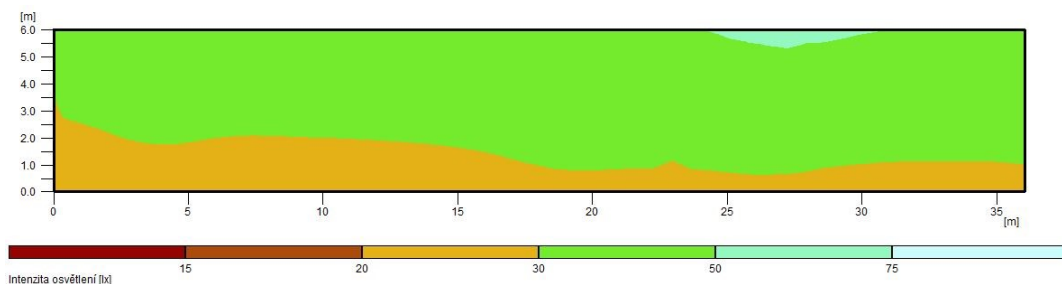
Tab. 6: Vyhodnocení světelně-technických parametrů podle normy ČSN EN 13201-2 pro úsek A

### **Zhodnocení vypočtených hodnot celkové rovnoměrnosti jasů a průměrných jasů mezi moderní Thorn R2L2 a původní Riviérou**

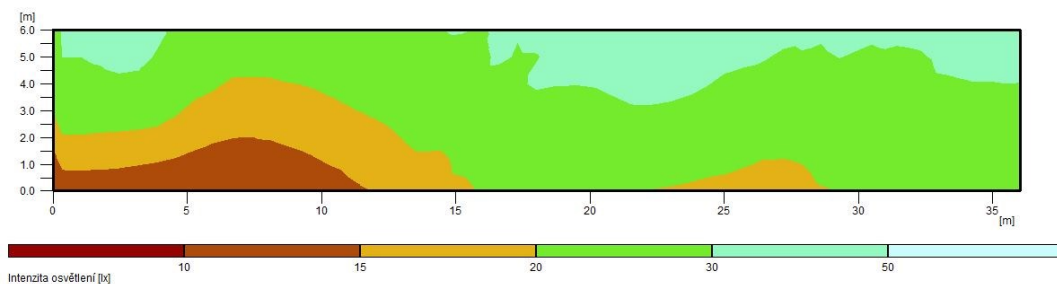
Nový stav s LED svítidly R2L2 má hodnotu rovnoměrnosti udržovaného jasů 0,77. Původní hodnota udržovaného jasů svítidla Riviéra bylo 0,66. Průměrný jas oproti původnímu stavu také vzrostl z 3,1 na 3,7 cd/m<sup>2</sup>. Zlepšení v obou směrech při použití R2L2 je dáno lehce větším světelným tokem (R2L2 má o 436 lm větší světelný tok). Dále také širší křivkou svítivosti a v neposlední řadě, rozdílným natočením svítidel (nové natočení svítidel oproti původnímu: Příloha 1.). Významnou roli ve zvýšení průměrného udržovaného jasů hraje také příspěvek z okolních soustav. Soustava A se nachází mezi soustavou B (Naica) a neměřenou soustavou se svítidly Teceo. Tyto soustavy přispívají soustavě A zhruba čtvrtinovým příspěvkem, což není zanedbatelné.

#### **6.4.2 Vyhodnocení modelu úseku B (Boss Naica)**

Osvětlovací úsek B, se nachází nejdále od budovy FEI. Úsek je osvětlován pouze z jedné strany třemi svítidly Boos Naica. Na obr. 33. a obr 34. je zobrazeno rozložení osvětlenosti v pseudobarvách. Jedná se o porovnání Boos Naica a původního svítidla: Thorn Riviéra.



Obr. 33: Rozložení vypočtené udržované osvětlenosti úseku B - nový stav



Obr. 34: Rozložení vypočtené udržované osvětlenosti úseku B - původní stav

Typ svítidla		Požadované hodnoty dle normy ČSN EN 13201-2 (třída osvětlení M1)	
		Celková rovnoměrnost jasu $U_0$ (-)	Průměrný jas $L$ (cd/m <sup>2</sup> )
	Požadovaná (udržovaná) hodnota	$\geq 0,4$	$\geq 2$
LED (Naica)	Vypočtená (udržovaná) hodnota	0,61	2,5
NAV (Riviéra)	Vypočtená (udržovaná) hodnota	0,48	1,7

Tab. 7: Vyhodnocení světelně-technických parametrů podle normy ČSN EN 13201-2 pro úsek B

#### **Vyhodnocení vypočtených hodnot celkové rovnoměrnosti jasů a průměrných jasů mezi moderní Boos Naica a původní Riviérou**

Nový stav s LED svítidly Naica má hodnotu rovnoměrnosti udržovaného jasu 0,61. Riviéra v původním stavu měla hodnotu 0,48, což je těsně nad minimem, aby splnila podmínky pro třídu M1. Průměrný jas vzrostl z 1,7 na 2,5 cd/m<sup>2</sup>. V původním stavu by soustava neodpovídala třídě M1, protože minimální hodnota průměrného jasu je minimálně 2 cd/m<sup>2</sup>. Lepší výsledky v novém stavu jsou dány lepším natočením svítidel a díky širšímu vyzařování v podélné ose. Soustava B má vyšší jas také díky tomu, že ji přispívá sousední A soustava (R2L2 svítidla), která má lepší světelně technické parametry než původní stav (Riviéra).

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo posoudit rozdíly mezi konvečními NAV svítidly a čím dál více se rozvíjejícími LED svítidly ve veřejném osvětlení.

V první kapitole teoretické části se zabývám základními světelně technickými parametry, které jsou klíčové při volbě správného svítidla pro danou situaci. V další kapitole popisují soubor norem ČSN EN 13201-1 až 4, které hrají důležitou roli pro výběr vhodných svítidel. V závěru teoretické části je pojednáváno o LED diodách a řízení ve veřejném osvětlení.

LED diody předčí svítidla NAV hlavně v kvantitativních parametrech, jako je například životnost světelného zdroje nebo index podání barev. Co se týče kvalitativních parametrů (např. celková rovnoměrnost), tak LED diody se NAV vyrovnají nebo, jak bylo zjištěno v praktické části této bakalářské práce, je při vhodném návrhu dokonce předstihnou. LED diody mají obrovský potenciál, co se týče měrného světelného výkonu, který se s NAV svítidly vůbec nedá srovnávat.

V praktické části bakalářské práce bylo hlavním cílem zhodnocení testovacího polygonu parkoviště u Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB - Technické univerzity v Ostravě. Počítal se rozdíl mezi původním polygonem, který byl osazen svítidly Thorn Riviéra (vysokotlaká sodíková výbojka) a novým stavem polygonu, který byl osazen novými LED svítidly (Thorn R2L2, Boos Naica a Schreder Teceo). Porovnávaly se hlavně světelně technické parametry svítidla R2L2, Naica a původního svítidla Thorn Riviéra.

Prostřednictvím výpočtů v programu Relux bylo zjištěno, že nový stav polygonu, který je osazen LED svítidly, má lepší světelně technické parametry než původní stav s NAV svítidlem. Oblast, která je primárně osvětlena R2L2 svítidly, má o 19 % vyšší průměrný jas a o necelých 17 % vyšší celkovou rovnoměrnost jasu. Oblast, která je osvětlována svítidly Naica má vyšší průměrný jas dokonce o 47 % a o 27 % vyšší celkovou rovnoměrnost jasu. Takto vysoké hodnoty jsou dány tím, že LED svítidla mají lepší křivku svítivosti, větší měrný výkon s vhodnějším natočením.

Přínosem bakalářské práce je zjištění, že pokud je světelná soustava navržena správně, tak LED svítidla jsou správným kandidátem. LED svítidla také mají díky svému vysokému měrnému světelnému výkonu a účinnosti, nižší energetickou náročnost, což vede k úsporám při provozování soustavy. LED svítidla jsou jednoduše a rychle stmívatelná a regulovatelná, což vede k dalším energetickým úsporám.

## Seznam použité literatury

- [1] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 9788086534213.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [3] Elektroenergetika 3. *Fotometrická plocha svítivosti*. SlidePlayer [online]. 2012, str. 16 [cit. 2018-03-10] Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2907395/>
- [4] Prostorový úhel. *Vymezení prostorového úhlu na kulové ploše rotační kuželovou plochou*. Wikipedie [online]. 2017 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorov%C3%BD\\_%C3%BAhel#/media/File:Solid\\_Angle.png](https://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorov%C3%BD_%C3%BAhel#/media/File:Solid_Angle.png)
- [5] SRVO Základy světelné techniky. *Podstata světla, zrakový systém*. profi ElektriKa [online]. 2012 [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: <http://elektriKa.cz/data/clanky/srvo-zaklady-svetelne-techniky>
- [6] Ovládněte barvy fotografie. *Měření barvy světla (teploty chromatičnosti)*. Milujeme fotografii [online]. 2015 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: [https://www.milujemefotografii.cz/wp-content/uploads/2015/03/150301\\_01\\_201\\_stupnice\\_teploty\\_barev.jpg](https://www.milujemefotografii.cz/wp-content/uploads/2015/03/150301_01_201_stupnice_teploty_barev.jpg)
- [7] DALI2net. Foxtron [online]. 2019 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <http://www.foxtron.cz/eshop/sbernice/dali/dalinet-5636-detail?lang=cz>
- [8] Napájecí zdroj EDR-120-24. Servis a zásobování elektromateriálem [online]. 2019 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <http://www.saze.cz/edr/11017-napajeci-zdroj-edr-120-24-24v-120w-1-faze-na-din-listu.html>
- [9] ČSN CEN/TR 13201-1. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení*. Vyd. 2. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky*. Vyd. 2. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [11] ČSN EN 13201-3. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet*. Vyd. 2. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [12] ČSN EN 13201-4. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Požadavky*. Vyd. 2. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [13] PAVELKA, Tomáš, Jan ŠKODA a Petr BAXANT. *Historie světelných diod LED*. SVĚTLO, časopis pro světlo a osvětlování [online]. 2016 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/historie-svetelnych-diod-led--1696?fbclid=IwAR324Pl8WWL3mgQngKAmf9qsHX3-TB5N9FXDpqX9TXlwJmXZcedoIXrQ08>
- [14] *Energetický audit osvětlovacích soustav veřejného osvětlení*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce Doc. Ing. Tomáš Novák Ph.D.

- [15] ŠEBESTA, Petr. *Ověření relací mezi výpočetními a měřicími metodami ve veřejném osvětlení*. Ostrava, 2018. Diplomová práce. VŠB-TUO. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Doc. Ing. Tomáš Novák Ph.D
- [16] MARTÍNEK, Radek. *Zkušební polygon Broadband LIGHT parkoviště FEI, VŠBTU Ostrava: Využití infrastruktury veřejného osvětlení pro pokrytí intravilánu města SMART technologiemi*. Kurz osvětlovací techniky XXXIV. Dlouhé stráně, 2018. str. 147-150.
- [17] TESAŘ, Jiří. *Ekonomie provozu veřejného osvětlení. Optimalizace ovládacího systému*. Atrmetal-cz [online]. 2010 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: [http://www.artmetal-cz.com/p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/provoz%20a%20%C3%BAdr%C5%BEba%20VO/Tesa%C5%99\\_Ekonomie%20provozu%20ve%C5%99ejn%C3%A9ho%20osv%C4%9Btlen%C3%AD.pdf](http://www.artmetal-cz.com/p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/provoz%20a%20%C3%BAdr%C5%BEba%20VO/Tesa%C5%99_Ekonomie%20provozu%20ve%C5%99ejn%C3%A9ho%20osv%C4%9Btlen%C3%AD.pdf)
- [18] Stmívatelný LED driver. Conrad [online]. 2019 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/stmivatelny-led-driver-230-v-ac-350-700-ma.k154910>
- [19] DALIpwr. Foxtron [online]. 2019 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <http://www.foxtron.cz/eshop/sbernice/dali/dalipwr-detail?lang=cz>
- [20] BAROŠ, Jan. *SENZORICKÝ SYSTÉM NA BÁZI VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE* [ONLINE]. OSTRAVA, 2018 [CIT. 2018-09-25]. DOSTUPNÉ Z: HTTP://HDL.HANDLE.NET/10084/128565. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÁ ŠKOLA VŠB-TUO
- [21] Mikrotik RB962UiGS-5HacT2HnT. Datacomp [online]. 2019 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: [https://datacomp.sk/mikrotik-rb962uigs-5hact2hnt\\_d305863.html](https://datacomp.sk/mikrotik-rb962uigs-5hact2hnt_d305863.html)
- [22] Chapter 21: White-light sources based on wavelength converters, Detailed information on LEDs. Dostupné z: <https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap21/chap21.htm>

